

Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftlern;
Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 18 (2013)

Heft: 1

Artikel: Überwachung und Vorhersage von Sturz- und Rutschereignissen :
Tagung und Generalversammlung der SFIG, Olten 12. April 2013

Autor: Bollinger, Daniel

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-391141>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Überwachung und Vorhersage von Sturz- und Rutschereignissen – Tagung und Generalversammlung der SFIG, Olten, 12. April 2013

Daniel Bollinger¹

Dank verbesserten Verfahren, präziseren Messresultaten, verschiedenen Anbietern und zunehmenden Praxiserfahrungen haben sich die Möglichkeiten der Überwachung von instabilen Hängen in den letzten Jahren stark verbessert. Die Tagung der SFIG hatte zum Ziel, den heutigen Stand der Technik anhand praktischer Erfahrungen aufzuzeigen. Dazu wurden mehrere Referenten aus Wissenschaft und Praxis eingeladen. Rund 50 Teilnehmer fanden sich am 12. April 2013 zur Tagung und Generalversammlung der SFIG im Kongresshotel Arte in Olten ein.

Simon Löw, Professor Ingenieurgeologie ETHZ, zeigte anhand des Beispiels des Felssturzes von **Preonzo** TI auf, dass das Erkennen der Grunddisposition und das Verständnis der Kinematik eines instabilen Hanges grundlegende Voraussetzungen für eine wirksame Überwachung und lagegerechte Warnung/Alarmierung sind. Dazu sind Messeinrichtungen vorausgesetzt, welche im Falle von Preonzo vorerst aus Handmessungen und automatischen Weggebern an den wichtigsten Zugrissen auf der Alpe di Rosciuro, geodätischen Messpunkten in der steilen, gegen das Tal zu gerichteten Felswand und einem Pluviometer bestehen. Später wurde auch terrestrische Radarinterferometrie eingesetzt, um die Instabilität in den mit 20–25 Grad bergwärts einfallenden Gneissen, Schiefnern und Amphiboliten zu überwachen. Anhand der Zeitreihen von Verschiebungen und externen Einflussfaktoren können in der Regel die Auswirkungen möglicher Trigger

(v.a. Niederschläge) erkannt werden (Fig. 1). Die Vorhersage des Abbruchzeitpunktes ist stets eine grosse Herausforderung. Es ist naheliegend, diesen Zeitpunkt auf der Basis vorhandener Ganglinien von Messstellenresultaten bestmöglich zu ermitteln. Dazu werden verschiedene Methoden angewandt (z. B. Fukuzono Plot, Fitted Creep Model; vgl. Loew et al. 2012). Bei allen Verfahren ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass sich das Bewegungsverhalten der instabilen Masse mit der Zeit und vor allem gegen den Absturz zu verändert. Das zeigte auch der Felssturz vom 15. Mai 2012 (210'000 m³), der etwas früher eintrat als mit den genannten Verfahren prognostiziert (Fig. 2).

Die Definition von Schwellenwerten für Warnung und Alarmierung ist von grosser Tragweite, besonders wenn wie im Falle von Preonzo grosse Schadenpotenziale (Industriekomplex, Verkehrsachsen) tangiert sind. Die Festlegung solcher Werte erfolgt oftmals iterativ, indem dank zunehmender Erkenntnisse über das Verhalten der Instabilität und ergänzender Messvorrichtungen Anpassungen an den Schwellenwerten möglich sind. Bei Preonzo kamen in der letzten Phase vor dem Felssturz vom 15. Mai 2012 folgende Bewegungsraten zur Anwendung: Voralarm bei 1–3 mm/Tag, automatischer Alarm bei 2 mm/h, offizieller Alarm bei 3–5 mm/h, Evakuierung bei 5 mm/h.

Valentin Gischig (ehemals Ingenieurgeologie ETHZ, jetzt SED) informierte über die vom Schweizerischen Nationalfonds und der ETH finanzierten Forschungsarbeiten zur aktuellen Instabilität oberhalb **Randa** VS. Zwecks Überwachung und besserem Verständnis der Versagensmechanismen wurde diese in

¹ Redaktor Swiss Bulletin für angewandte Geologie, Vorstandsmitglied SFIG

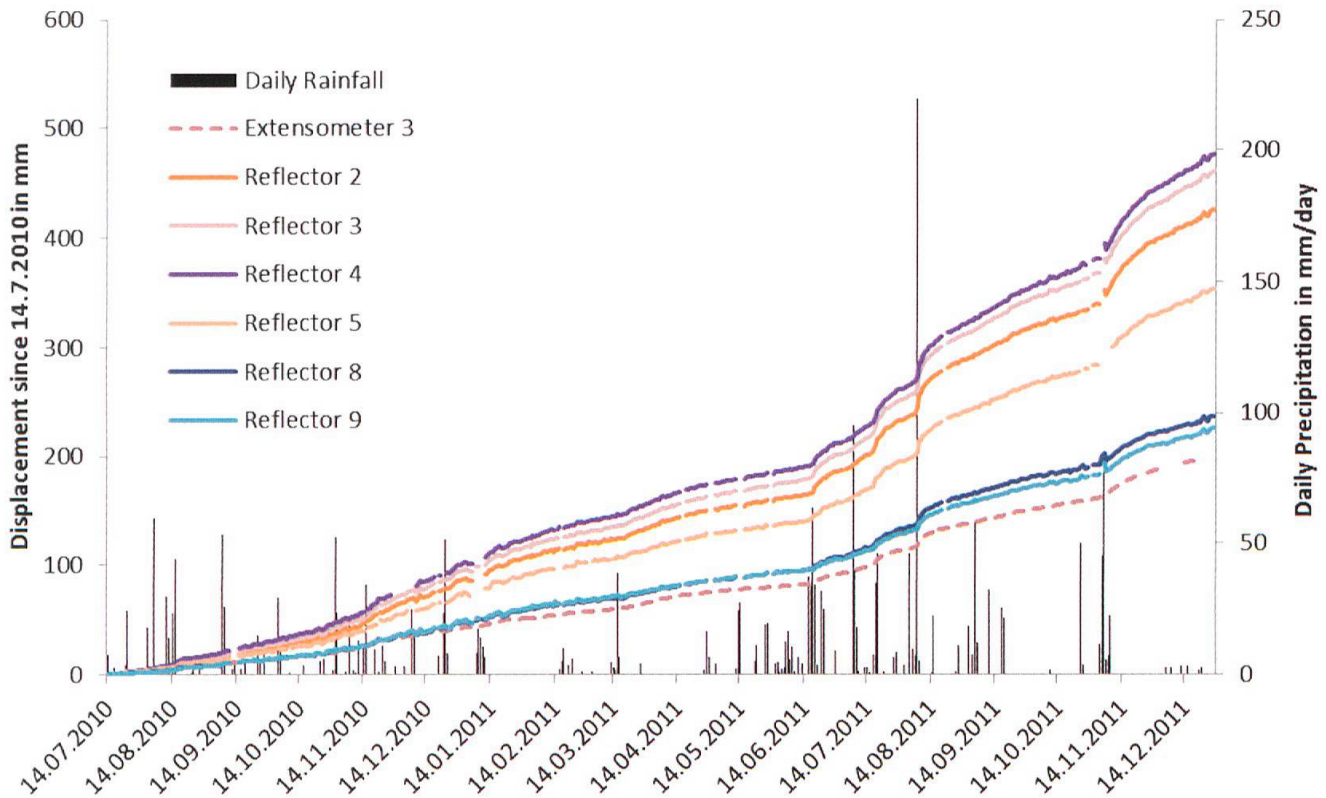


Fig. 1: Ganglinie der Messungen auf Alpe di Rosciro (Preonzo TI) im Zeitraum Juli 2010 bis Dezember 2011. Die Bewegungsraten lassen eine deutliche Koppelung mit den Niederschlägen erkennen, vor allem in der zweiten Hälfte des Jahres 2011. Relativ hohe Wasserspiegellagen werden auch durch die konvergente Hangmorphologie begünstigt. Nach jeder niederschlagsbedingten Beschleunigung oder Schneeschmelze setzten sich die Bewegungsraten auf durchschnittlich höherem Niveau fort, was auf eine zunehmende Entfestigung des Gebirgsverbands hindeutet. Die Reflektoren in der frontalen Felswand zeigen insgesamt stärkere Verschiebungen als das Extensometer am hangseitigen Haupttriss, was auf die Präsenz weiterer Zerrspalten in der instabilen Felspartie hinweist. [Quelle: Präsentation S. Löw].

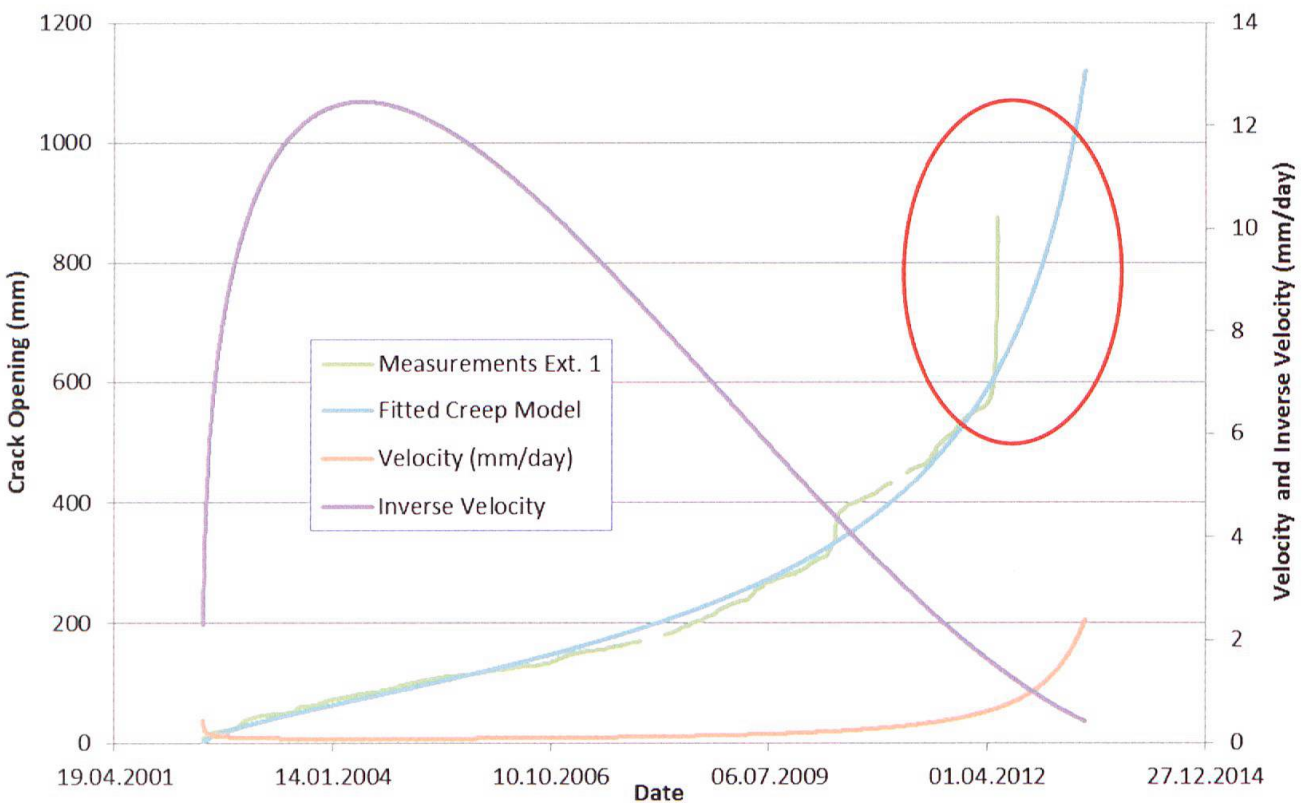


Fig. 2: Starke Abweichung der an der Zerrspalte auf Alpe di Rosciro gemessenen Bewegungen im Vergleich zu den Prognosen in den letzten zwei Wochen vor dem Sturzereignis (u.a. inverse Geschwindigkeit bzw. Fukuzono Plot, Fitted Creep Model). [Quelle: Präsentation S. Löw].

den letzten Jahren zunehmend instrumentiert und es wurden umfassende geologisch-strukturgeologische, geophysikalische sowie auf Fernerkundungsverfahren basierende Untersuchungen durchgeführt. Wesentlich zum Verständnis trugen drei Forschungsbohrungen bis in Tiefen von 120 m bei, woraus sich ein detailliertes 3D-Modell der Strukturen und Verschiebungen herleiten liess.

Die instabile Felspartie umfasst den oberen Teil der nach den Felsstürzen vom 18. April 1991 (22 Mio. m³) und 9. Mai 1991 (7 Mio. m³) verbliebenen Abbruchwand, bestehend aus leicht hangeinwärts einfallenden Para- und Orthogneissen sowie Schiefern. Die Instabilität bildet ein keilförmiges Kompartiment von 5–6 Mio. m³. Gegen unten ist sie durch den Kontakt zu stabilen Orthogneissen, gegen S durch eine grosse tektonische Bruchfläche begrenzt. Die Struktur und Kinetik ist komplex. Einer translatorischen Bewegung längs einer mittelsteil gegen das Tal zu geneigten Bruchfläche sind Hakenwurf-Prozesse überlagert, vor allem im obersten Teil der heutigen Instabilität.

Die gemessenen Deformationsraten liessen ungewöhnliche jahreszeitliche Schwankungen erkennen. So zeigten die systematisch und mit verschiedenen Messmethoden bis in eine Tiefe von 68 m registrierten Werte höhere Deformationsraten im Winter und niedrigere nach der Schneeschmelze (Fig. 3). Diese zyklischen Veränderungen von ca. 2 mm/Jahr sind einer konstanten Grundbewegung von im Mittel 10–30 mm/Jahr überlagert. Sie sind mit thermomechanischen Effekten erklärbar, was auch mit numerischen Simulationen recht gut angenähert werden konnte. Dass solche Effekte überhaupt detektierbar sind, ist dem Umstand zu verdanken, dass der Bergwasserspiegel in grösserer Tiefe liegt und die hydromechanischen Effekte somit die thermomechanischen nicht überprägen. Das zeigt auch, dass Grundwasserschwankungen bei der aktuellen Instabilität oberhalb von Randa eine untergeordnete Rolle spielen.

Obwohl thermomechanische Spannungsän-

derungen in der Tiefe sehr klein sind, können sie differenzielle Bewegungen entlang bestehender effektiver Trennflächen auslösen. Dies, weil die zahlreich vorhandenen Trennflächen kritisch gespannt, d. h. nahe beim Versagen sind, was ein Hinweis auf vermutlich relativ geringe Stabilitätsreserven der Felsmasse ist.

Das Felssturz- und Rutschungsgebiet **Brinzauls/Brienz** GR ist von alters her bekannt. Allein die Inschrift an der Kirchenglocke von Brinzauls aus dem Jahre 1912, in welcher der Dorfheilige um Schutz vor den «schlüpfri-gen Felsen» gebeten wird, bringt dies zum Ausdruck. Christoph Nänni (Tiefbauamt Graubünden) vermittelte eine Übersicht über die Ereignisse der jüngeren Vergangenheit und die Situation in diesem Gebiet.

Seit 2008 wird eine verstärkte Sturzaktivität festgestellt, was Auslöser für die Errichtung von Schutzdämmen an der Kantonsstrasse war. Ab diesem Zeitpunkt erfolgten vertiefte geologisch-hydrogeologische Abklärungen, worauf basierend geologisch-kinematische Analysen durchgeführt wurden.

Die Instabilitäten bei Brinzauls machen sich einerseits durch eine tiefgründige Rutschung bis hinunter ins Tal der Albula, andererseits durch Sturzprozesse im Anrissbereich der Rutschung auf der Südflanke des Piz Linard bemerkbar. Die Rutschung, auf der auch das Dorf selbst liegt, befindet sich grösstenteils im Nordpenninischen Flysch, die Abbruchbereiche in Raibler Schichten und Arlbergdolomit des Ostalpins. Das kinematische Modell zeigt komplexe Verhältnisse, wo nebst der basalen Gleitfläche auch verschiedene sekundäre Gleitflächen und Brüche zur Instabilität und den Bewegungen beitragen.

Seit Jahrhunderten ereignen sich periodisch Felsstürze von mehreren Zehntausend Kubikmetern. Dem Restrisiko sehr grosser Felsstürze oder gar eines Bergsturzes, welche die Strasse und das Dorf treffen könnten, wird mit einem Überwachungsdispositiv im Abbruchgebiet begegnet. So werden

zur Erfassung der Geländebewegungen verschiedene Messverfahren eingesetzt. In den Felswänden sind in der aktiven Abrissfront 25 Reflektoren installiert, welche von einer Tachymeter-Messstation im Dorf aus alle 4 Stunden vollautomatisch angepeilt und vermessen werden. Tägliche Bewegungsraten von wenigen mm bis 20 mm wer-

den gemessen, teilweise mit leicht ansteigender Tendenz. Aufgrund der Tachymeter-Messungen werden auch Warnungen abgesetzt, sofern die kritischen Werte bei mindestens drei Messpunkten erreicht bzw. überschritten werden. Die Meldungen erfolgen via SMS und E-Mail vorerst an die zuständigen kantonalen Behörden und an

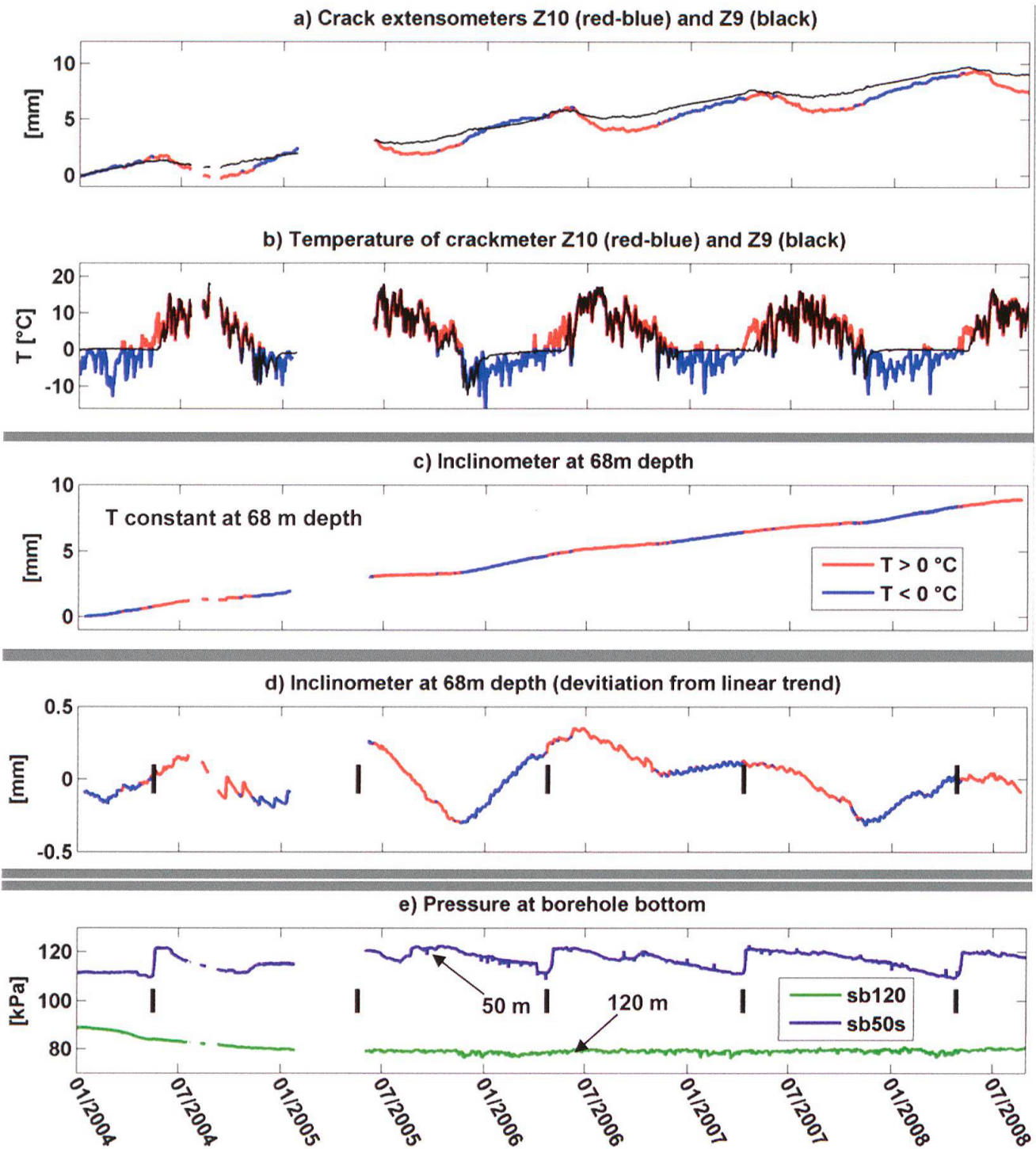


Fig. 3: Messreihen von Extensometer [a], Oberflächentemperatur [b], Inklinometer [c, d] und Wasserdrücken in Bohrungen [e]. In [a-d] rot dargestellt sind die Resultate bei positiven, blau bei negativen Oberflächentemperaturen. [Quelle: Präsentation V. Gischig, Gischig et al. 2011].

das Vermessungsbüro, bei höheren Werten an alle involvierten Fachpersonen (ab 30 mm in 24 Stunden an mindestens drei Messpunkten).

Im Weiteren deckt ein Netz von GPS-Messpunkten das ganze Rutschungs- und Felsabbruchgebiet ab. Diese Punkte werden halb-

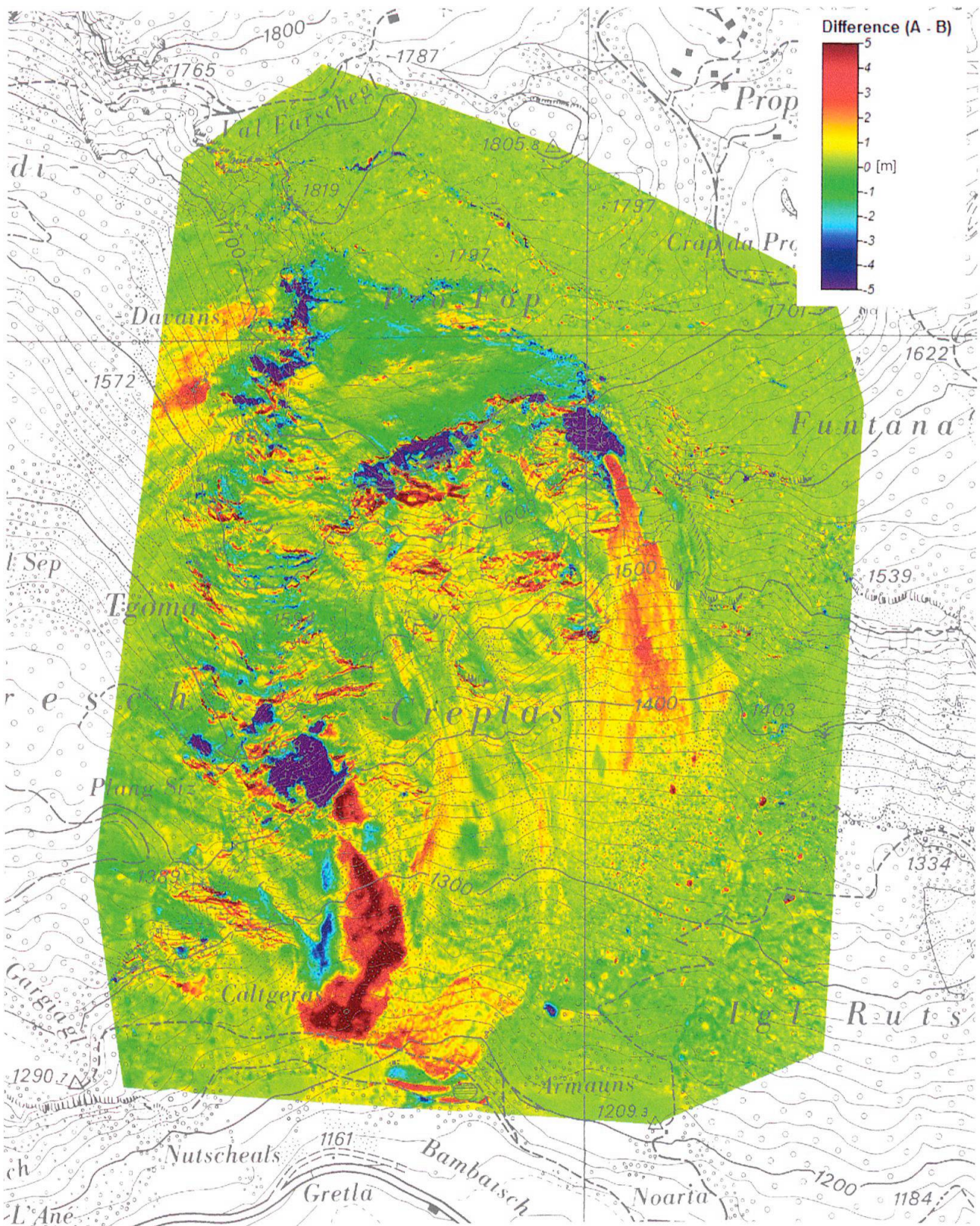


Fig. 4: Resultate des Heli-Laserscannings 2012 im Vergleich zur Nullmessung 2009, erstellt im Massstab 1:5'000. Die dunkelgrünen Bereiche zeigen an, wo flächenmässige Geländeabsenkungen um 1 m oder mehr stattgefunden haben. Die violetten Bereiche zeigen die aktiven Felsabbruchstellen mit maximalen Differenzen bis 32 m zwischen den beiden Messungen. In den darunterliegenden Schutthalde sind die Materialanhäufungen in rot erkennbar. [Quelle: Felssturzgebiet Caltgeras, Brienz GR, Visualisierung Heli-scan 2012, HMQ AG und Helimap SA, Mai 2013].

jährlich vermessen und lassen seit dem Jahre 2010 zunehmende Bewegungen erkennen. Den Messungen zufolge bewegt sich die Rutschmasse im Bereich von 20–30 cm/Jahr, einschliesslich des Dorfes. Bewegungen von 50 bis 300 cm/Jahr werden erwartungsgemäss im felsigen Abbruchgebiet registriert. Weitere eingesetzte Verfahren sind Heli-Laserscanning (alle drei Jahre, Fig. 4) und INSAR-Messungen (INSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar). Mit diesen Methoden werden räumliche Hebungen und Senkungen des Geländes gemessen.

Andrea Pedrazzini (Office de l'environnement, Canton du Jura) zeigte die Möglichkeiten der Erfassung instabiler Hänge mittels **LIDAR** (Light Detection and Ranging) auf. Bei diesem Verfahren werden mit einem terrestrischen Laser Scanner (TLS) Hangbereiche gescannt. Dabei sind sehr grosse Datenmengen erforderlich, beispielsweise 3–6 Mio. Punkte, um eine Felswand von 100 × 100 m abzubilden.

Vom TLS wird ein monochromatischer Laserstrahl emittiert, der von festen Gegenständen reflektiert wird. Die Distanz zum Objekt errechnet sich aus der Laufzeit des Strahls hin und zurück. Es können Messdistanzen bis 1'500 m oder mehr erreicht werden. Die Fehler sind in der Regel normalverteilt ($\sigma = 0.72$ cm auf 50 m). Vegetation wirkt sich ungünstig aus. Hangdeformationen werden aus der Differenz zwischen den Messvorgängen berechnet. Mittels numerischer Verfahren können Translations- und Rotationsbewegungen analysiert werden. Hierzu müssen jedoch zuvor uniforme Felsbereiche abgegrenzt werden.

Die Vorteile des Verfahrens liegen in der hohen Auflösung, der flächigen Abdeckung und – im Verhältnis zur erfassten Fläche – der relativ hohen Genauigkeit (im cm-Bereich). Es können echte 3D-Bewegungen und Felsbereiche mit unterschiedlichen Bewegungsmustern erfasst werden, was die Interpretation einer Instabilität und die kinematische Analyse derselben deutlich ver-

bessert. Über längere Beobachtungsräume können durch vergleichende Aufnahmen auch Materialbilanzen erstellt werden (z. B. Erosion vs. Ablagerung).

Da das Gerät relativ leicht und handlich ist, kann es im Gelände gut eingesetzt werden. Etwas nachteilig ist das erforderliche post-processing der umfangreichen Messdaten.

Anhand verschiedener Beispiele wurden die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten illustriert. So wurde im Zeitraum 2006–2009 in der Val Canaria (TI) eine Felsinstabilität in der Piora Mulde vom Gegenhang aus überwacht. Bei jedem jährlich durchgeführten Scan wurden mehr als 12 Mio. Punkte erfasst (Auflösung 4–6 cm). Die festgestellten Veränderungen in den Jahren 2006 bis 2009 waren auf örtliche Felsabbrüche sowie Deformationen im oberen Bereich der Ablösefront von bis zu 90 cm pro Jahr zurückzuführen. Anhand der Scans konnte eine Felspartie identifiziert und abgegrenzt werden, bei der ein Abbruch in näherer Zukunft zu erwarten war. In Kombination des TLS mit Radarinterferometrie konnte der Absturzzeitpunkt sehr gut angenähert werden. Vergleichsaufnahmen vor und nach dem Ereignis erlaubten schliesslich die volumetrisch genaue Bestimmung der Ausbruchskubatur und der Ablagerungen.

Die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten wurden an weiteren Beispielen illustriert. So trugen LIDAR-Messungen an der Felsinstabilität im tiefen Felseinschnitt am Unteren Grindelwaldgletscher 2006 viel zum Verständnis der Bewegungsmuster der aneinander grenzenden, sich unterschiedlich bewegendes Felskompartimente und letztlich des Versagensmechanismus bei. In einem anderen Fall lieferten LIDAR-Messungen, teils in Kombination mit Radarinterferometrie, wichtige Erkenntnisse bei der Analyse einer Felsinstabilität in einem Steinbruch.

Die Überwachung von Hangbewegungen hat je nach Verfahren seine Grenzen. Kaspar Graf (Geotest) und Lorenz Meier (Geopraevent) lieferten dazu Beispiele im Zusammenhang mit der terrestrischen Radarinterferometrie.

Das **interferometrische Georadar** ermöglicht die Detektion von Deformationen bis auf 4 km Distanz. Die seitliche Auflösung beträgt 4 m pro Kilometer Messdistanz. Der theoretischen Genauigkeit von 0.1 mm steht eine praktisch erreichbare von 1-2 mm gegenüber.

Das vorgestellte terrestrische interferometrische Georadar (IBIS-L) ist relativ leicht transportierbar, rasch installiert und kann über Wochen autonom betrieben werden. Die Messdaten können über Internet live eingesehen werden und das System kann automatisch direkt vor Ort oder per SMS alarmieren.

Das Verfahren beruht darauf, dass die vom Gerät ausgesandten elektromagnetischen Wellen an Objekten reflektiert und anschließend wieder empfangen werden. Aus der Phasendifferenz der empfangenen Signale werden die Distanzen errechnet, wobei die Einflüsse von Druck, Luftfeuchte und Temperatur automatisch mittels mathemati-

scher Verfahren korrigiert werden. Da die atmosphärischen Parameter nicht exakt gemessen werden können, erfolgt die Kalibrierung des Systems an stabilen bzw. mutmasslich stabilen Fixpunkten respektive Flächen. Die Darstellung der Resultate erfolgt in farbigen Ansichten des überwachten Hangbereichs (Fig. 5). An Orten mit Vegetationsbedeckung oder Schnee können meist keine aussagekräftigen Resultate erzielt werden.

Das interferometrische Georadar IBIS-L wurde im Mai 2012 auch im Felssturzgebiet von Preonzo eingesetzt. Dank der zu diesem Zeitpunkt hohen Bewegungsraten waren trotz der Messdistanz von 2 km und 1'200 m Höhendifferenz schon nach wenigen Stunden Resultate verfügbar. Die automatische Überwachung zeigte vom 1.-13. Mai 2012 zunehmende Bewegungsraten bis mehr als 6 cm/h kurz vor dem Felssturz am 15. Mai und eine Gesamtverschiebung bis zu 800 mm. Wertvoll waren die nach dem Ereignis fort-

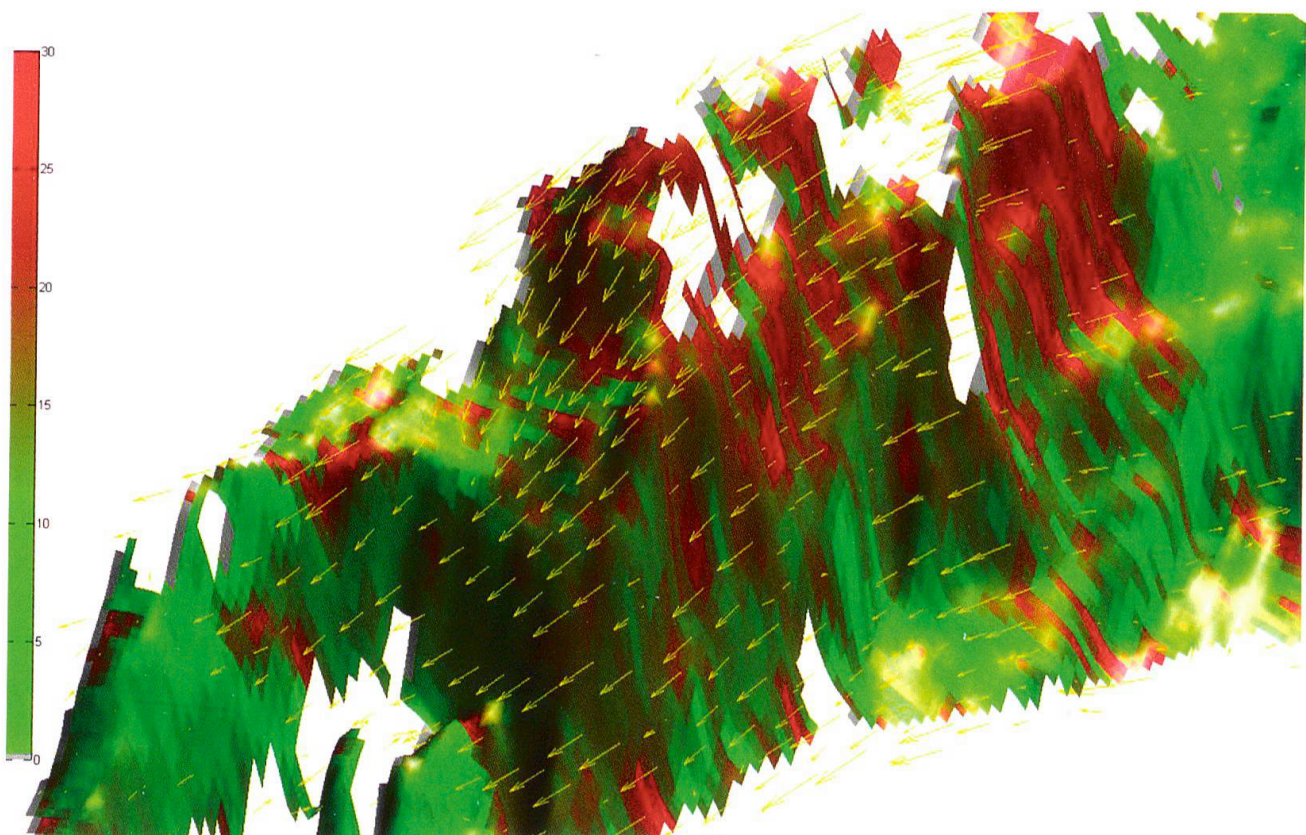


Fig. 5: Vektorielle Auswertung der Resultate zweier Messstandorte. Die Farbskala zeigt die Deformationen in mm pro Jahr von null (grün) bis 30 mm. Bei Messungen ausgehend von zwei Standorten können Deformationsrichtungen erfasst werden (gelbe Pfeile). [Quelle: Präsentation K. Graf und L. Meier].

geführten Messungen, denn sie zeigten rasch abklingende Bewegungen an der Abbruchstelle. Daraus konnte ohne Begehung des Gebiets gefolgert werden, dass keine grösseren Nachstürze zu erwarten waren. Die Grenzen der Messmethode wurden anhand des Beispiels des Felssturzes an der SBB-Gotthardlinie in Gurtnellen illustriert. Für die Bereiche wo temporäre oder permanente Felsabdeckungen (Netze) vorhanden sind oder wo intensiv gearbeitet wird (Erdverschiebungen, Felsreinigung etc.), können in der Regel keine verlässlichen Resultate erzielt werden. Aus Redundanzgründen sind in solchen Fällen zwingend weitere Messverfahren nötig (z. B. Telejointmeter, Extensometer, Tachymetrie, GPS).

Seit einigen Jahren besteht auch die Möglichkeit der Detektion und Überwachung grossflächiger Hangbewegungen durch Satellitenradarinterferometrie. Hugo Raetzo vom BAFU orientierte über das **INSAR-Projekt Schweiz** (INSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar). Ziel dieses Projektes ist die Bereitstellung von Hinweiskarten zu Massenbewegungen, ausgedrückt durch verschiedene Geschwindigkeitsklassen (durchschnittliche Hangbewegungen 0–2 cm/Jahr, 2–10 cm/Jahr, 10–50 cm/Jahr, 50–100 cm/Jahr und > 100 cm/Jahr). Die Satellitenmessungen liefern als Resultat mehr oder weniger flächige Rasterdaten mit unterschiedlichen Bewegungsbeträgen pro Messintervall. Dabei treten in der Praxis meist auch Lücken auf, wo keine verwertbaren Daten vorliegen. In einem weiteren Bearbeitungsschritt werden die Messresultate zu Flächen gleicher Bewegungsraten aggregiert. Für die Erfassung besonders geeignet sind E- und W-exponierte Talflanken, aber auch für S-exponierte Hänge liegen brauchbare Resultate vor (z. B. Brinzauls GR). In bewaldeten Gebieten sind in der Regel keine verlässlichen Aussagen möglich. Seit 1991 liegen solche Satellitendaten vor, was eine retrospektive Beurteilung von Hangbewegungen erlaubt.

Fazit

Jede Hanginstabilität muss als Einzelfall betrachtet werden. Die Überwachung muss den spezifischen örtlichen Gegebenheiten angepasst, Schwellenwerte für Warnung und Alarmierung fallweise festgelegt werden. Es gibt keine Einheitslösungen. Grundsätzlich braucht es immer ein auf umfassenden Felduntersuchungen basierendes, geologisch-geomechanisches Modell, damit das Messdispositiv richtig konfiguriert werden kann. Mit der Bedeutung des Erkennens der Grunddisposition eines instabilen Hanges und des Erarbeitens eines soliden geologisch-geomechanischen Modells hat sich die AGN (Arbeitsgruppe Geologie und Naturverfahren der SFIG) bereits mehrmals umgehend befasst und dazu in Bulletins publiziert (AGN 2000, 2009).

Einmal mehr zeigte es sich, dass Themen zu Naturgefahren bei den SFIG-Mitgliedern auf grosses Interesse stossen. Es ist wichtig, dass die SFIG im Bereich des Naturgefahrenmanagements präsent ist und den Mitgliedern Möglichkeiten bietet, sich über die neuesten Entwicklungen und Erfahrungen ins Bild zu setzen. Nebst Beiträgen im Bulletin gehören dazu auch Tagungen.

Generalversammlung

Die Generalversammlung konnte speditiv abgewickelt werden. Eine kurze Diskussion entstand zur Frage der Statutenänderung betreffend Mitgliedschaft. Der Vorschlag des Vorstandes umfasst eine Präzisierung des Kriteriums «Hochschulausbildung». Gemäss Art. 3 der Statuten soll neu der Master-Abschluss in Geowissenschaften vorausgesetzt werden. In der kurzen Diskussion votierten einzelne Mitglieder dafür, dass ein Bachelor-Abschluss genügen sollte. Im Vordergrund müsse das Interesse an einer Mitgliedschaft stehen. Die Anpassung der Statuten wurde mit zwei Stimmenthaltungen angenommen. Die Jahresrechnung 2012 und das Budget 2014 wurden genehmigt.

Der Redaktor weist daraufhin, dass unter <http://retro.seals.ch/digbib/home> sämtliche Bulletinausgaben seit der Ersterscheinung im Jahre 1934 digital verfügbar sind.

Die Tätigkeit der Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren AGN unter dem neuen Vorsitz von Markus Liniger wird für ein weiteres Jahr bestätigt.

Bibliografie

- AGN (Bollinger, D., Hegg, Ch., Keusen, H. R., Lateltin, O. [eds.]) 2000: Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999, mit 13 Fallbeispielen. Bull. angew. Geol. 5/11, 3–152.
- AGN (Bollinger, D., Gruner, U. & Wyss, R.) 2009: Hochwasser August 2005 – Analyse der Hanginstabilitäten.
- Gischig, V., Moore, J. R., Evans, K. F., Amman, F. & Loew, S. 2011: Thermo-mechanical forcing of deep rock slope deformation – Part II: the Randa rock slope instability. Journal of Geophysical Research 116(F04011).
- Loew, S., Gischig, V., Moore, J. R. & Keller-Signer, A. 2012: Monitoring of potentially catastrophic rockslides. In: Eberhardt et al. (eds.) – Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding.

